ESTUDIOS EXPERIMENTALES DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LOSAS PREFABRICADAS

Giulio A. León Flores [1], Oscar López Batiz [2], Daniel A. Padilla Romero [3]

RESUMEN

El presente trabajo muestra el desarrollo de pruebas de modelos representativos de losas de vigueta y bovedilla, hechos a escala natural, los cuales vienen siendo ensayados en el CENAPRED. En total son 21 modelos de paneles cuadrados de losas prefabricadas de 2.10m de lado y peralte variable (de 13 a 19.5 cm) más un modelo de losa maciza, a ensayarse frente a cargas verticales y horizontales. Mediante estas pruebas se pretende determinar el nivel de seguridad estructural que presentan las losas prefabricadas para vivienda, considerando diferentes variables como: tipo de vigueta, bovedilla, concretos ligeros, refuerzos de fibras de polietileno, etc. Los resultados obtenidos servirán para revisar los reglamentos de diseño en México.

ABSTRACT

This paper shows the experimental testing of full-scale prototypes representing precast beam and block slabs. The prototypes consist in 21 squared panels of precast slabs of 2.1m side and depth varying from 13 to 19.5cm, and in one panel of cast in-place slab. These specimens are being testing in the facilities of CENAPRED, against vertical and horizontal loads. The main objective of these tests is to obtain the structural safety level of precast slabs used in housing buildings, considering different factors like: precast beams and blocks types, light-weight concretes, reinforcement types, etc. The results of the experimental testing will be used for the review and improvement of Mexico design codes for precast flooring systems.

ANTECEDENTES

El problema de vivienda en México es un tema de vital importancia para las recientes administraciones federales, no siendo la excepción la actual administración. Aunado a la escasez de la edificación para vivienda en cantidad, existe el problema de la calidad de la misma, lo cual va de la mano con el nivel de vulnerabilidad de la estructura de la vivienda ante los diferentes tipos de cargas a las que se verá sometida. Este aspecto del nivel de vulnerabilidad de la edificación para vivienda se ha convertido en uno de los temas centrales a tratar por los responsables de lograr edificación para vivienda funcional, económica, pero sobre todo segura.

Recientemente, producto de la incidencia de fenómenos naturales, la sociedad ha podido constatar el alto nivel de vulnerabilidad que presenta la vivienda construida con procedimientos “costumbristas” de cada región (por ejemplo, vivienda producto de los procesos de construcción informal, denominados generalmente como autoconstrucción). Se han desarrollado estudios detallados y bastos sobre la edificación con soluciones estructurales “tradicionales”, a base de mampostería de ladrillo rojo recocido confinada con elementos de

1 Gerente de Estructuras, Presforzados Mexicanos de Tizayuca PREMEX, González de Cossio 124 P.H., Col. Del Valle, 03100 México, D.F. Teléfono: (55) 1107-1910 Ext. 111; Fax: (55) 11071910 Ext. 112; gleon@premex.com.mx

2 Subdirector de Estructuras, Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED, Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Coyoacán 04360 México, D.F. Teléfono: (55) 5424-6100 Ext. 17026; olb@cenapred.unam.mx

3 Gerente, Asociación Nacional de Industriales de Vigueta Pretensada ANIVIP, González de Cossio 124 P.H., Col. Del Valle, 03100 México, D.F. Teléfono: (55) 1107-1910 Ext. 106; Fax: (55) 11071910 Ext. 112; daniel.padilla@anivip.org.mx

concreto reforzado, o bien con tabique cerámico, todos ellos contando con losas macizas como sistemas de piso "rígido". Esos estudios han servido básicamente para que el profesional de la ingeniería estructural tenga mayor certidumbre sobre los niveles de seguridad de la edificación que se diseña, no repercutiendo de igual manera en la vivienda en la que se emplean elementos precolados, los que se usan cada vez con mayor frecuencia, generalmente por resultar procedimientos de menor costo y de mayor rapidez en su ejecución. Al parecer, el sistema de piso con vigueta y bovedilla también ha visto incrementado su uso porque, a los ojos de los usuarios, presenta ventajas dentro de los procedimientos de autoconstrucción, o construcción informal; no se requiere de mano de obra calificada ni de equipos de altos costos como grúas.

De la revisión de trabajos experimentales en sistemas estructurales prefabricados hechos a la fecha en el país, son muy pocos los que se pueden relacionar con sistemas de piso prefabricados:

1) En el Instituto de Ingeniería, Esteva en los años sesenta (Esteva, 1966), hizo un trabajo para estudiar la rigidez a cortante de sistemas de piso compuestos a base de losas alveolares sin firme o losa de compresión;
2) En el año 1999, como una investigación dentro de la Universidad Metropolitana unidad Atzcapozalco, Iglesias y Guzmán (Iglesias et al, 2000), realizaron una serie de pruebas para estudiar comparativamente, y determinar, la rigidez de sistemas de piso de diferentes características, dentro de ese estudio se incluyó a la losa maciza, losacero y vigueta y bovedilla;
3) En el año 2000, en el CENARPED, se llevaron a cabo pruebas en dos estructuras tridimensionales escala natural de marcos resistentes a momento, en las que la variable fue el sistema de piso, en una se usó losa maciza y en la otra, vigueta y bovedilla (López et al, 2000).

El primer trabajo presenta conclusiones generales sobre el comportamiento de los sistemas a base de losas alveolares, sin embargo, dado que en la prueba no se consideró el hacer una comparación directa con el comportamiento de losas macizas, no se puede definir el nivel de "emulación" que puede lograr este sistema de piso con respecto al tradicionalmente usado en el medio de la construcción en México, el de losas macizas.

En cuanto al segundo trabajo, en el cual se estableció una comparación directa entre las capacidades de desempeño de los tres tipos de losas mencionados, se identificaron problemas en el planteamiento del trabajo experimental que repercutía en resultados muy favorables para el sistema a base de vigueta y bovedilla.

Finalmente, en el tercer trabajo se identificó un comportamiento global para estructuras regulares y simétricas igual entre los dos modelos (con loza maciza y vigueta y bovedilla); la única diferencia importante fue que la estructura con sistema de piso a base de vigueta y bovedilla presentó una rigidez a la torsión entre el 5 y el 10% menor que la rigidez obtenida para el modelo de la estructura con losa maciza.

Esta reducida cantidad de información experimental sobre el comportamiento medido en estructuras con este tipo de sistemas de piso no permite que se emitan recomendaciones lógicas y racionales para el análisis y diseño de las mismas. Actualmente existe una Norma Mexicana NMX-C-406-1997-ONNCCE, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de marzo de 1998, en la que se establecen algunos lineamientos y recomendaciones que el fabricante deberá cumplir y transmitir al usuario del sistema de piso a base de vigueta y bovedilla. En dicha norma no se emiten recomendaciones sobre los procedimientos de análisis y la filosofía de diseño de estructuras de concreto en las que se contemple el uso de este sistema de piso; la norma se concentra básicamente a lograr que el sistema de piso de vigueta y bovedilla esté conformado por elementos y materiales con un control de calidad adecuado.

El profesional de la construcción en general, desde el ingeniero del diseño estructural, hasta el ingeniero constructor, ha manifestado una serie de inquietudes sobre el comportamiento de las losas a base de vigueta y bovedilla, muchas de las cuales no fueron debidamente contempladas dentro de la norma NMX-C-406-1997-ONNCCE. Entre los cuestionamientos más recurrentes al respecto se encuentran:

- La influencia de la orientación de la vigueta en el comportamiento estructural de la losa.

- Si los valores propuestos para el peralte mínimo de la losa de compresión logran efectivamente el comportamiento de diafragma rígido.
- La repercusión en las capacidades de carga y el nivel de desempeño esperado en una losa precolada, al usar viguetas de alma abierta o presforzadas y bovedillas de cemento-arena o poliestireno.
- El nivel de desempeño estructural de los diferentes procedimientos empleados para el anclaje de la vigueta en los elementos portantes.
- Las recomendaciones para la colocación y anclaje del refuerzo para momento negativo en la periferia de los tableros de losa
- La posible contribución de la losa de vigueta y bovedilla, independientemente de la orientación de la vigueta, al trabajo de marco, etc.

Diez años después de la emisión de la norma NMX-C-406-1997-ONNCCE, resulta prudente iniciar el proceso de revisión y de requerirse, modificación e implementación de nuevas recomendaciones, para lo que resulta vital contar con resultados experimentales que despejen las dudas e inquietudes antes mencionadas.

OBJETIVOS

Con el propósito de poder determinar los niveles de seguridad que guarda el sistema de piso de vigueta y bovedilla ante la incidencia de diferentes tipos de fenómenos naturales, principalmente el sismo, y tomando en cuenta las necesidades de información que han manifestado los profesionales relacionados con la industria de la vivienda en México (desde el profesional del diseño estructural, hasta el mismo usuario), aunado a la necesidad de revisar y mejorar la Norma Mexicana NMX-C-406-1997-ONNCCE, se considera necesario la realización de una serie de pruebas en laboratorio, en modelos hechos a escala natural que resulten representativos de los diferentes componentes del sistema en estudio (sistema de piso en general, y las juntas de continuidad para momento negativo entre los tableros componentes). En este trabajo se plantea el desarrollo de estas series de pruebas que tienen por objetivo obtener información que permita resolver algunas de las inquietudes manifestadas. Además, la información permitirá una retroalimentación para los comités revisores de las normas, en este caso de la NMX-C-406-1997-ONNCCE, así como se podrá contar con información para llevar a cabo una revisión de la Norma Técnica Complementaria para Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en relación con el capítulo correspondiente a los sistemas de piso precolados.

DESCRIPCIÓN DE LOS ESPECÍMENES

CARACTERÍSTICAS GENERALES

La investigación completa consiste en dos series de pruebas (series A y B) de modelos hechos a escala natural, representativos de losas de vigueta y bovedilla, los cuales serán ensayados en el Laboratorio de Estructuras Grandes del CENAPRED, frente a cargas verticales y cargas horizontales cíclicas reversibles. Los especímenes consisten en losas de vigueta y bovedilla de uno y dos paneles (tableros) cuadrados de 2.10m de lado (ver figura 1) y peralte variable (de 13 a 19.5 cm) más un panel de losa maciza. Todos los modelos tendrán trabes perimetrales (o portantes) con dimensiones de 20cm de ancho y 30cm de peralte, las cuales se diseñaron para que no presenten problemas por flexión, cortante o adherencia.

MODELOS DE LA SERIE A

Para esta serie se cuenta con un total de 6 especímenes de losas de vigueta y bovedilla de un tablero, más uno de losa maciza. Las losas de vigueta y bovedilla cuentan con detalles típicos utilizados para viviendas en México (ver figura 2), como son:

- Un firme (losa de compresión) de 4.5cm de espesor con concreto de f’c=25 Mpa, reforzado con malla de alambre electrosoldada 6”x6”-10/10.

- Apoyo o enlace de la vigueta por entrega, en donde la vigueta penetra 10cm dentro de la trabe de apoyo. Adicionalmente, se colocaron bastones de varilla de 3/8" sobre cada vigueta (recomendación de varios fabricadntes de viguetas)
- Se usaron bovedillas de arena-cemento y poliestireno de 13cm de peralte y Premexcimbra (casetón recuperable de fibra de vidrio) de 15cm de peralte.

La losa maciza resultó de un armado de varilla de 9.53mm (3/8") @ 25cm, en las dos direcciones en el lecho inferior, con bastones de la misma varilla para el negativo @ 75cm. Adicionalmente, se colocó la misma malla lectrosoldada 6"x6"-10/10, por temperatura (ver figura 3).

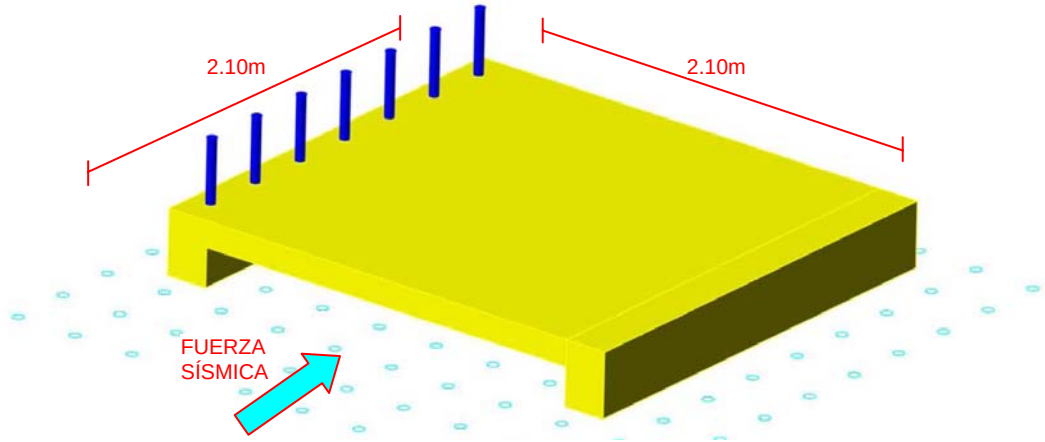

Figura 1.a Espécimen de un tablero de losa

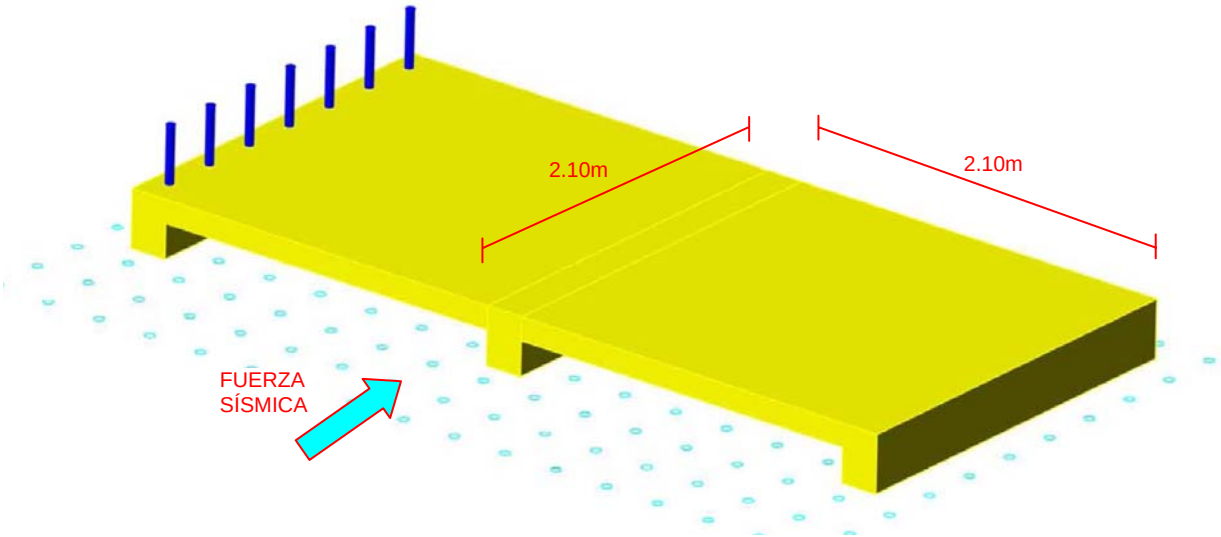

Figura 1.b Espécimen de dos tableros de losa

Figura 1 Esquema de los especímenes de losas a ensayarse

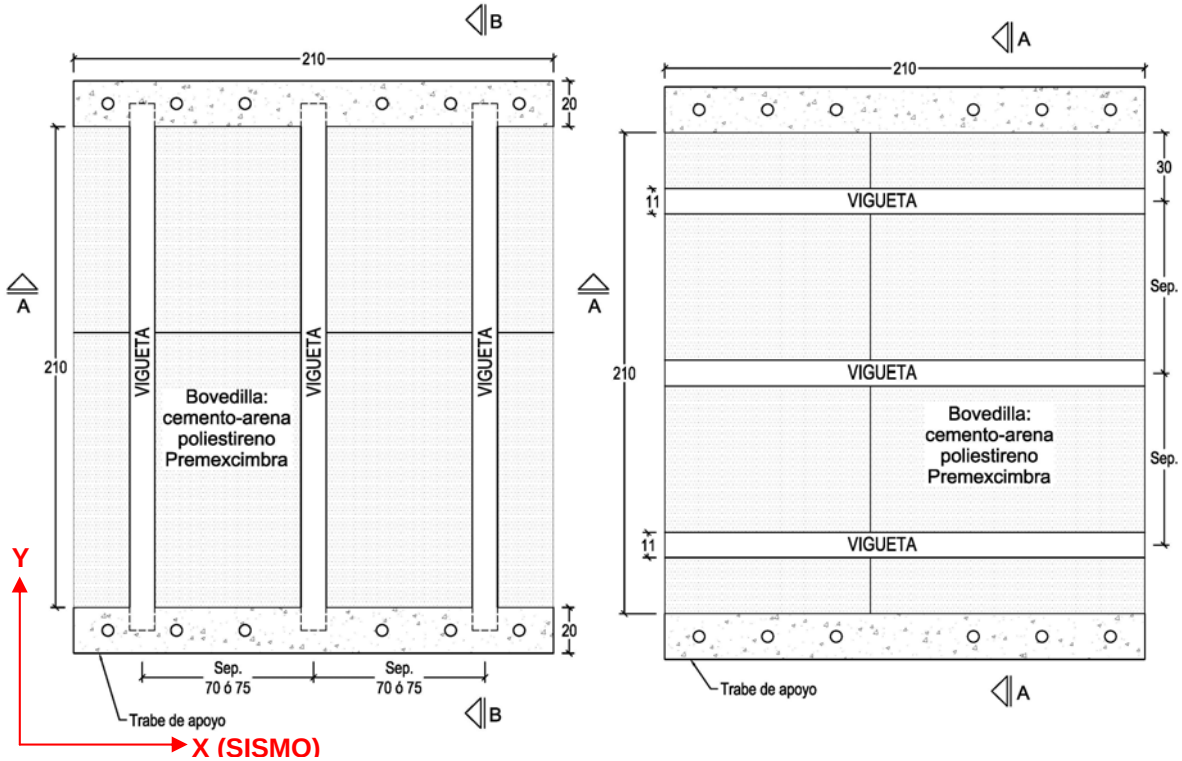

Figura 2.a Vista en planta de los especímenes (viguetas orientadas en direcciones ortogonales)

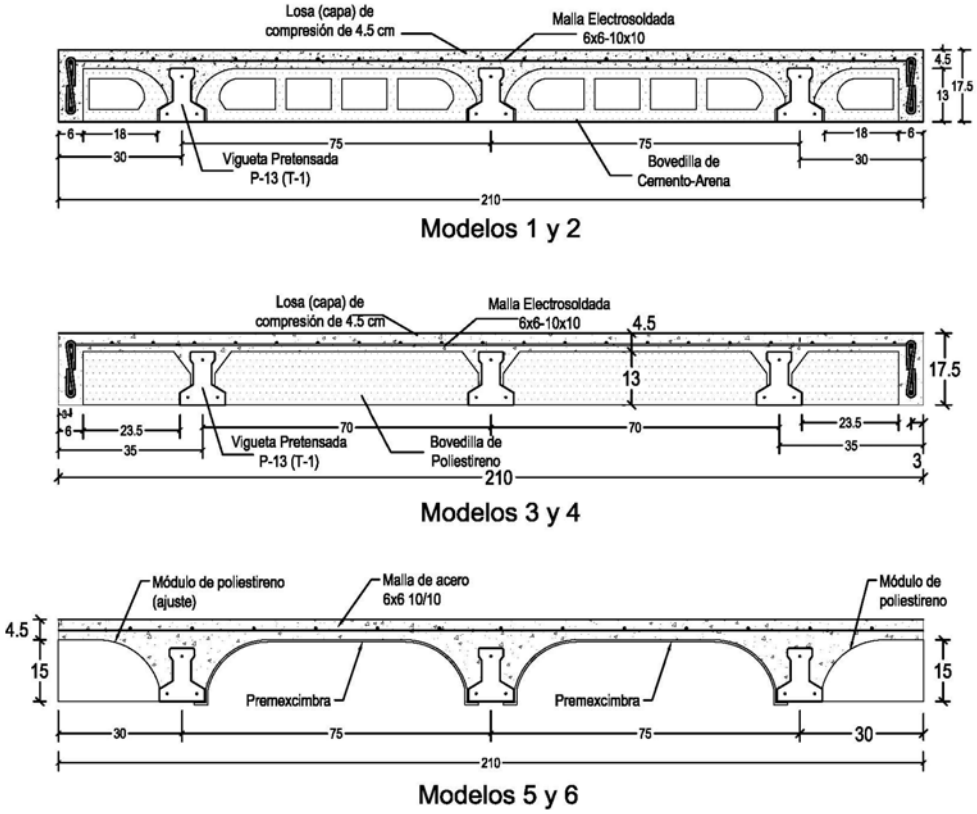

Figura 2.b Corte A-A: Modelos 1 @ 6 de losa de vigueta y bovedilla

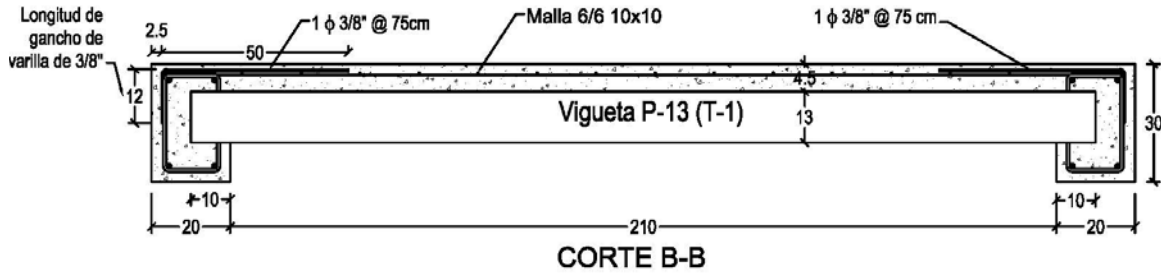

Figura 2.c Corte B-B. Detalle de apoyo de las viguetas en los modelos 1 @ 6

Figura 2 Detalle de modelos 1 @ 6 de losas de vigueta y bovedilla

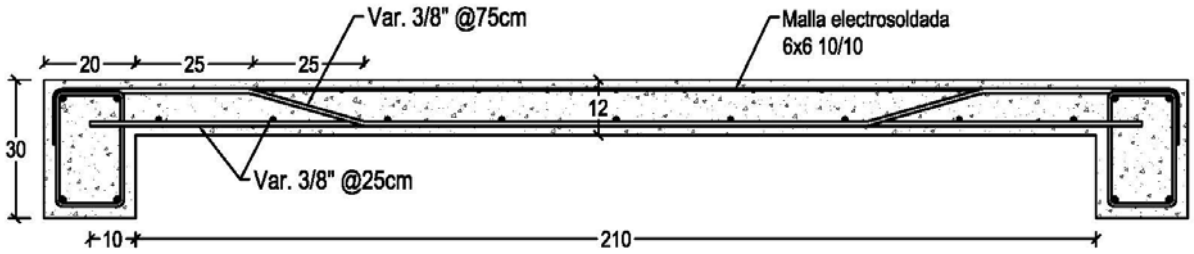

Figura 3 Detalle de modelo de losa maciza

Variables a estudiar

Las variables a estudiar en esta serie son las siguientes:

1. Orientación de las viguetas. Para cada modelo de losa, las viguetas se orientaron en las dos direcciones ortogonales (ver figura 2); es decir, perpendiculares a la dirección del sismo (Y) y paralelas a dicha dirección (X)
2. Tipo de bovedilla. Como se mencionó, las bovedillas a considerar son: arena-cemento, poliestireno y Premexcimbra (ver figura 3).

En la tabla 1 se resumen las características especiales de los modelos de la serie A.

Tabla 1 Características especiales de los modelos de la serie A

Modelo	Orientación de vigueta	Separación vigueta (cm)	Tipo de bovedilla	Peralte Losa (cm)
A_1	Y	75	Arena - cemento	17.5
A_2	X	75	Arena - cemento	17.5
A_3	Y	70	Poliestireno	17.5
A_4	X	70	Poliestireno	17.5
A_5	Y	75	Premexcimbra	19.5
A_6	X	75	Premexcimbra	19.5
A_7	Losa maciza			12

MODELOS DE LA SERIE B

Para esta serie se cuenta con un total de 11 especímenes de losas de vigueta y bovedilla de un tablero, y 3 especímenes de dos tableros (ver figura 4). Todas las losas cuentan con requisitos mínimos para viviendas en México. Las características comunes a todos los modelos son las siguientes:

- Las viguetas están orientadas en la dirección perpendicular a la fuerza sísmica (dirección Y) y a una separación de 70cm, a excepción del modelo 11 en donde la separación es de 60cm.
- La losa de compresión es de 4cm de espesor, a excepción del modelo 11 que tiene 3cm.
- Las bovedillas son de poliestireno de 13cm de peralte, a excepción del modelo 11 cuyas bovedillas tienen 10cm de peralte.
- Las trabes de apoyo son las mismas que para los modelos de la serie A.

Modelos de un tablero de losa

Las características especiales de estos modelos se resumen en la tabla 2. La nomenclatura Vigueta P-13 se refiere a vigueta pretensada de 13cm de peralte, y como Vigueta P-11, a vigueta pretensada de 11cm de peralte. La vigueta de Alma abierta fue escogida para que tenga un capacidad a carga vertical similar a las viguetas pretensadas (resultó de nomenclatura 14/64). Todas las viguetas se anclaron 5cm en las trabes de apoyo (longitud mínima de apoyo permitida)

Tabla 2 Características especiales de los modelos un tablero de losa de la serie B

		Losa de compresión			
Modelo	Vigueta	Concreto f'c (Mpa)	Refuerzo	Bastón 3/8" @ vigueta	Peralte Losa (cm)
B_1	P-13	20	Ninguno	NO	17
B_2	P-13	20	Malla 6x6 8/8	NO	17
B_5	P-13	20	Malla 8x8 8/8	NO	17
B_6	P-13	20	Malla 6x6 4/4	NO	17
B_7	P-13	15	Malla 8x8 8/8	SI	17
B_8	Ninguna *	20	Malla 8x8 8/8	NO	17
B_9	P-13	20	Fibras Poliprop.	SI	17
B_10	Alma abierta	15	Malla 8x8 8/8	SI	17
B_11	P-11	20	Malla 8x8 8/8	NO	13
B_12	P-13	Ligero	Malla 8x8 8/8	SI	17
B_13	P-13	Ligero	Fibras Poliprop.	SI	17

* En este modelo, se colocaron viguetas de poliestireno con la finalidad de servir de cimbra al concreto colado del firme.

Variables a estudiar

Principalmente, las variables a estudiar son las siguientes:

- Tipo de vigueta: pretensada y alma abierta
- Tipo de refuerzo del firme (losa de compresión): Mallas 6x6 8/8, 6x6 4/4, 8x8 8/8, y fibras de prolipopileno
- Tipo de concreto del firme: concreto de resistencias de 20 y 15 Mpa, y concreto ligero.
- Uso de bastones de Var. 3/8” en la conexión de la vigueta con la trabe de apoyo.
- Aporte de las viguetas a la resistencia a cortante horizontal (en el modelo B_8 las viguetas pretensadas fueron retiradas y en su lugar se colocaron viguetas de poliestireno solo con el fin de servir de cimbra)
- Peraltes mínimos de losas. El modelo B_11 tiene un peralte total de 13cm, que incluye 3cm de losa de compresión.

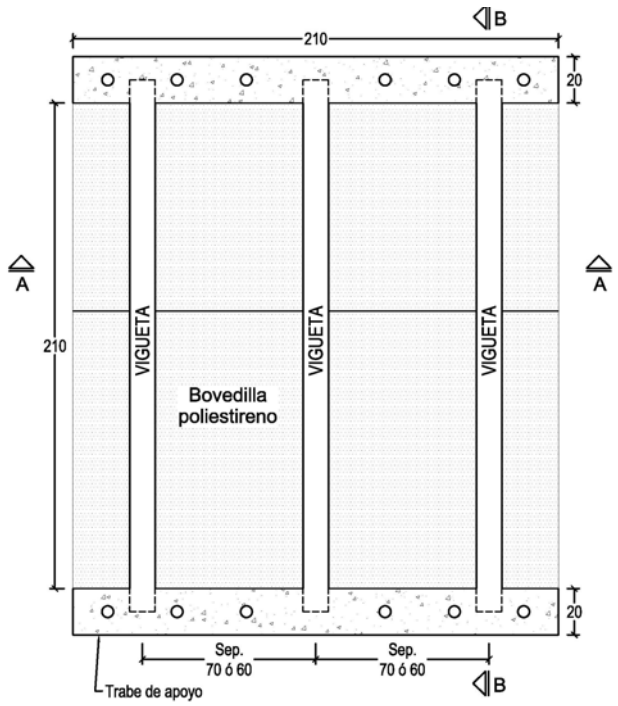

Figura 4.a Vista en planta de los especímenes de un solo tablero de la serie B

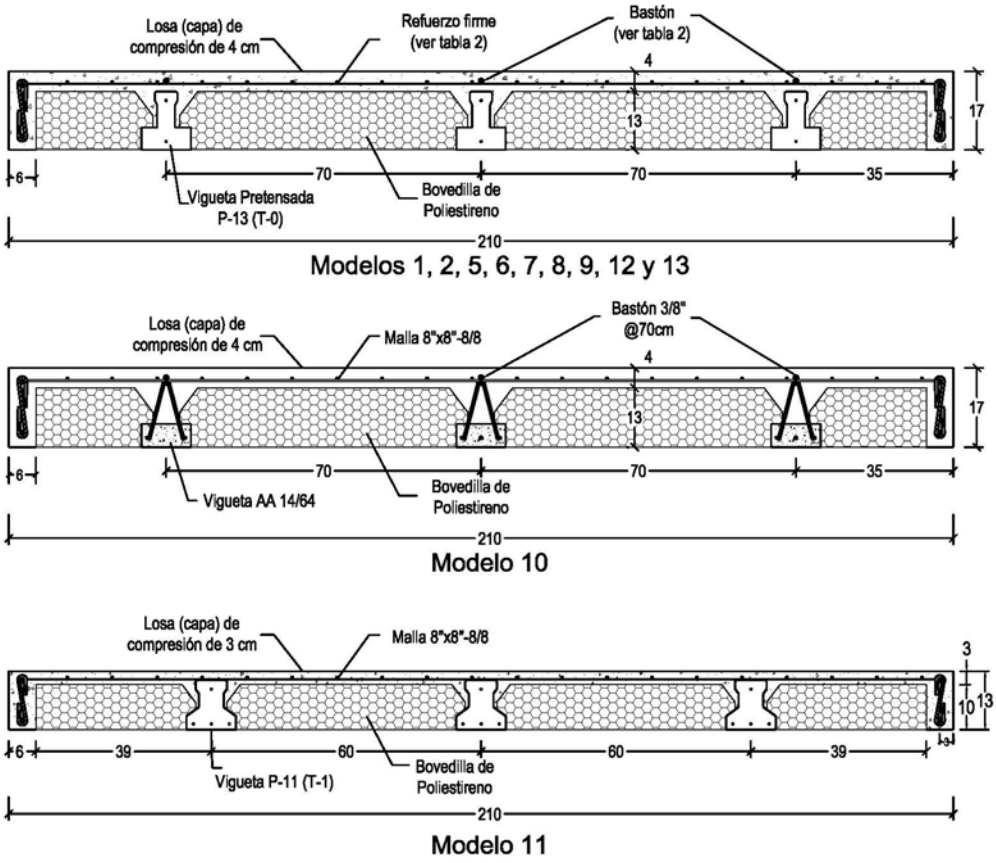

Figura 4b Corte A-A: Modelos de un solo tablero de losa, serie B

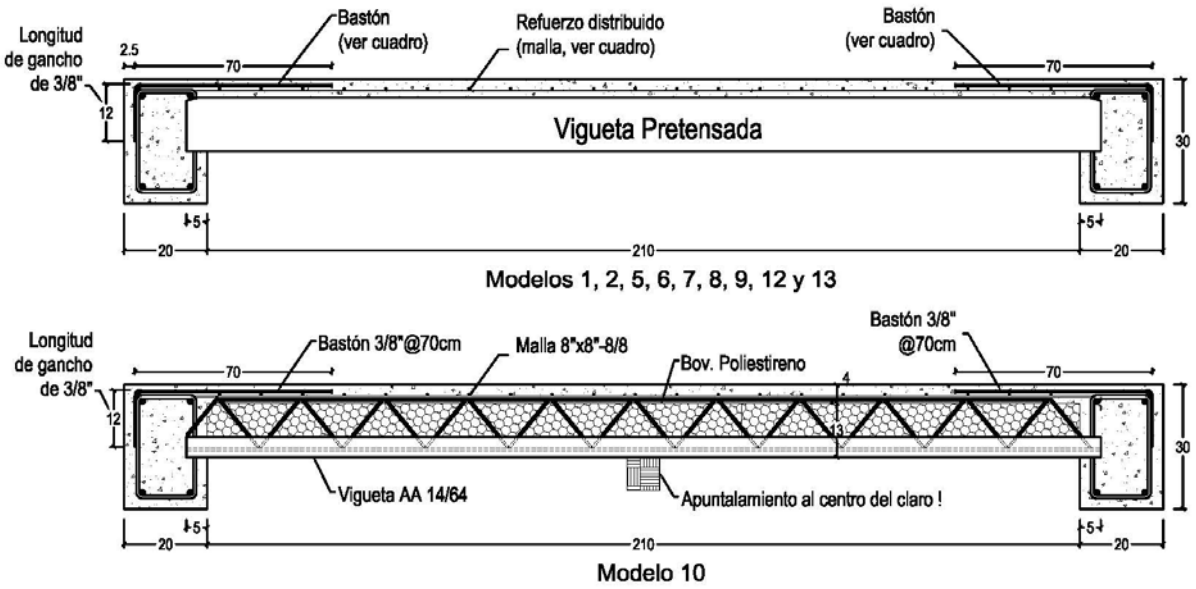

Figura 4.c Corte B-B. Detalle de apoyo de las viguetas en los modelos

Figura 4 Detalle de modelos de un tablero de losa de la serie B

Se consideraron diferentes tipos de mallas, cada una de ellas con un calibre y abertura de alambres diferentes, y un área de acero por metro de ancho que oscila entre 0.654 y 1.687 cm2/m (lo que equivale a una cuantía de 0.0016 a 0.0042, para un espesor de firme de 4cm), con la finalidad de estudiar la influencia de estas variables en el agrietamiento por cambios volumétricos de las losas, y su contribución a la resistencia al cortante horizontal. Además, se propuso la Malla 8x8 8/8, ya que se cree que facilitará el trabajo en el proceso constructivo, debido a que el diámetro de sus alambres de 4.1mm es suficientemente grueso como para doblarse con las pisadas del personal de trabajo, y su separación de 20cm permite una mejor maniobralidad sobre la misma.

Modelos de dos tableros de losa (conexión de viguetas por “solapo”)

La idea de construir modelos de dos tableros fue la de estudiar la continuidad en losas de vigueta y bovedilla (la rigidez que presentan a momento negativo). Adicionalmente, se planteó un apoyo diferente para las viguetas, llamado apoyo por “solapo” o a “tope”. En este apoyo, la vigueta no penetra dentro de la trabe de apoyo, sino que llega a tope con ésta (ver figura 5). La conexión se da mediante ganchos de varilla de 3/8” que se apoyan 10cm en el patín inferior de las viguetas y entran otros 10cm, como mínimo, en el interior de las trabes. Para que estos ganchos logren transmitir las fuerzas de la losa a la trabe, las bovedillas tienen que retirarse 10cm de la cara de la trabe o muro de apoyo, permitiendo que el concreto colado en obra llene estos espacios y haga trabajar al acero. Adicionalmente, los fabricantes de vigueta recomiendan la colocación obligatoria de bastones de varilla de 3/8” sobre cada vigueta, ya que ayuda a darle rigidez a la conexión. Las características especiales de estos modelos se resumen en la tabla 3 y figura 5.

Tabla 3 Características especiales de los modelos de dos tableros de losa de la serie B

Modelo	Vigueta	Concreto f'c (Mpa)	Refuerzo	Bastón 3/8" @ vigueta
B_3	P-13	20	Malla 6x6 10/10	NO
B_4	P-13	20	Malla 6x6 10/10	SI
B_14	Alma abierta	20	Malla 6x6 10/10	SI

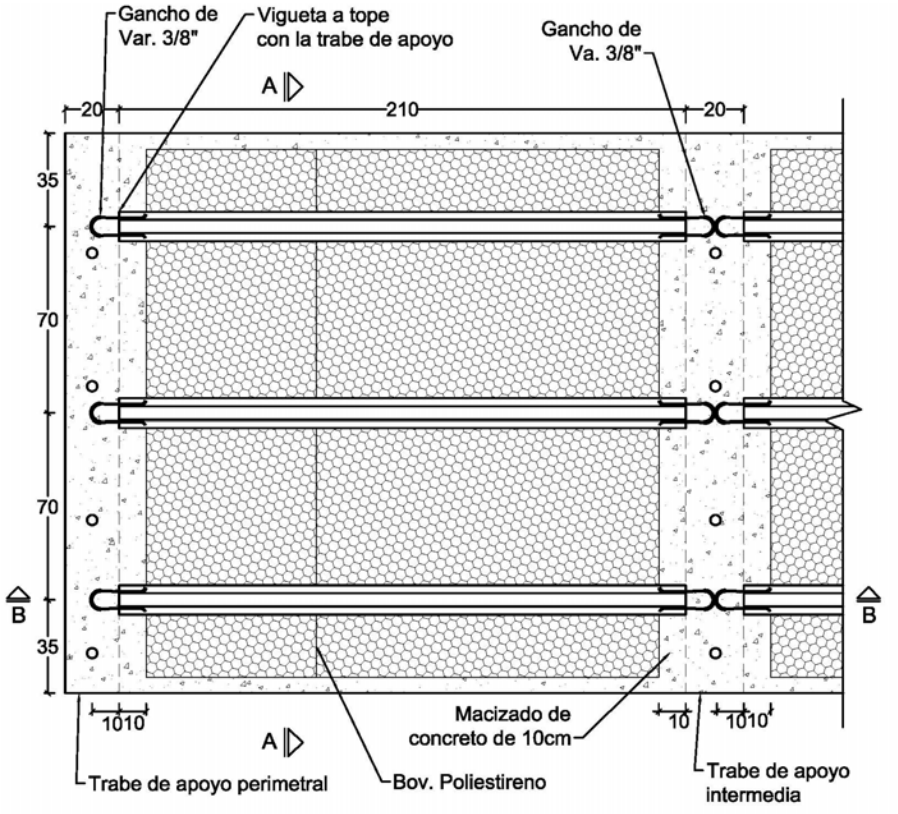

Figura 5.a Vista en planta de los especímenes de dos tableros de la serie B

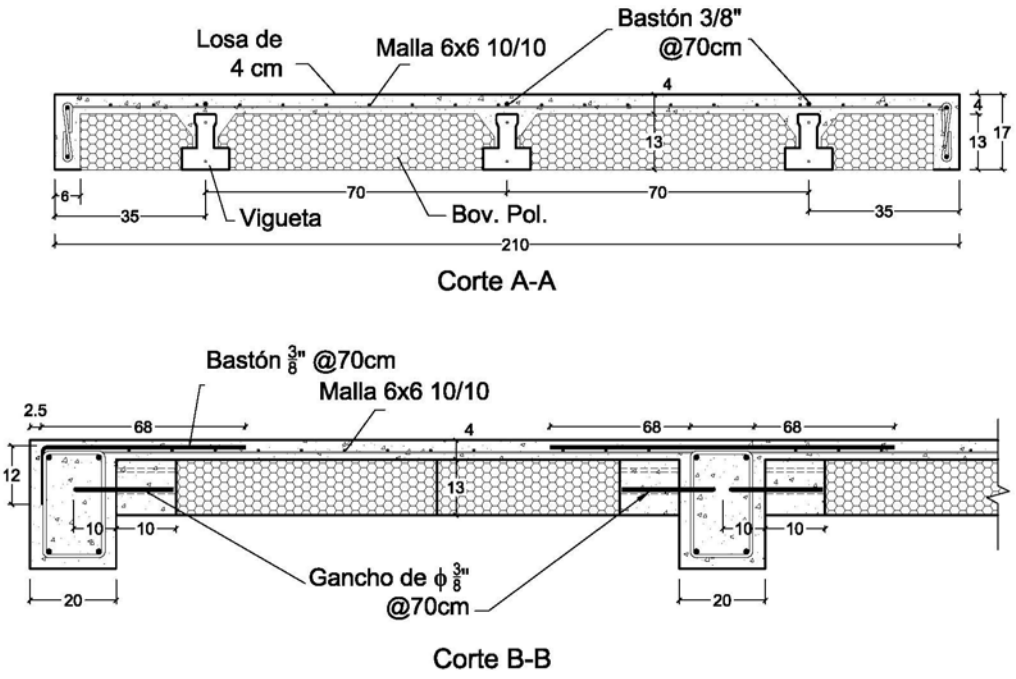

Figura 5.b Corte B-B. Detalles de apoyo por solapo de las viguetas en los modelos

Figura 5 Detalle de modelos de dos tableros de losa de la serie B

Variables a estudiar

Principalmente, se quieren estudiar dos aspectos:

1. La efectividad de la conexión por "solapo", tanto para viguetas pretensadas como para viguetas de alma abierta, y su comportamiento en losas con y sin continuidad
2. La influencia de los bastones de 3/8" en el comportamiento de las conexiones por solapo y en la continuidad de las losas de vigueta y bovedilla.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Refuerzos para concreto

En la tabla 4 se indican las resistencias de cada uno de los refuerzos usados en los elementos de concreto como firme, vigueta pretensada y vigueta de alma abierta, y en la tabla 5 se indican las características especiales de las mallas usadas en el firme.

Tabla 4 Resistencias de los diferentes refuerzos usados en los elementos de concreto

Refuerzo	Resistencia a la	
	fluencia, fy (kg/cm^2)	tensión, fu (kg/cm^2)
Acero de refuerzo (bastones de 3/8")	4,200	
Acero de presfuerzo (viguetas pretensadas)		18,000
Armadura (vigueta alma abierta)	6,000	7,000
Malla electrosoldada	5,000	6,000
Fibras de prolipopileno (monofilamento)		5,270

Tabla 5 Características de las mallas electrosoldadas usadas en el firme

Malla electrosoldada	Diámetro Alambre (mm)	Separación (cm)	Area acero (cm^2/m)	Cuantía para t = 4cm
6"x6" 4/4	5.7	15.24	1.687	0.0042
6"x6" 8/8	4.1	15.24	0.872	0.0022
6"x6" 10/10	3.4	15.24	0.605	0.0015
8"x8" 8/8	4.1	20.32	0.654	0.0016

Concreto

Viguetas pretensadas marca Premex. El concreto usado en las viguetas pretensadas es un concreto de alta resistencia con f'c = 400 kg/cm2.

Viguetas de alma abierta. El concreto usado en estas viguetas es un concreto tipo 1 con resistencia f'c = 250 kg/cm2.

Firme (losa de compresión). Se usaron concretos de diferente tipo: concreto tipo 1 con f'c=250 kg/cm2, concreto tipo 2 con f'c = 200 y 150 kg/cm2, y concreto ligero con resistencia especificada de 150 kg/cm2 y peso específico de 1800 kg/m3.

Bovedillas

Las bovedillas fueron proporcionadas por Premex, y sus características se detallan a continuación:

Bovedilla de aerna-cemento. De piedra pómex, tepetzil o similar porosos, con superficie rugosa, unidos entre sí con cemento.

Bovedilla de Poliestireno. De perla vírgen de poliestireno expandido, con densidad mínima de 10 kg/m3.

Ambas bovedillas cumplen con las pruebas de carga especificadas en la NMX-C-406-1997-ONNCCE.

FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

La fabricación de todos los especímenes se realizó en las instalaciones de la planta de PREMEX, ubicada en el Parque Industrial de Tizayuca, Hidalgo, para lo cual se utilizó la misma mano de obra calificada. Así mismo, todas las viguetas pretensadas y bovedillas fueron suministradas por PREMEX. De esta manera, se garantizó la misma calidad, tanto en los productos, como en la fabricación de todos los especímenes.

Figura 5a. Modelo A_1 (viguetas pretensadas y bovedillas de arena-cemento)

Figura 5b. Colado de la losa de compresión (firme)

Figura 6 Primeros modelos en el CENAPRED

DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYES

Todos los ensayes se realizarán en el Laboratorio de Estructuras Grandes del Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED. Los ensayes consisten en la aplicación de una fuerza vertical al centro del tablero de losa y de fuerzas horizontales cíclicas reversibles en los extremos de cada uno de los especímenes, tal como se muestra en los esquemas de la figura 7. Los especímenes estarán anclados en uno de sus extremos mediante barras de acero, las cuales son tensadas hasta producir la condición de empotramiento en dicho extremo. En las otras trabes, se coloca una superficie lisa para impedir cualquier restricción al desplazamiento horizontal.

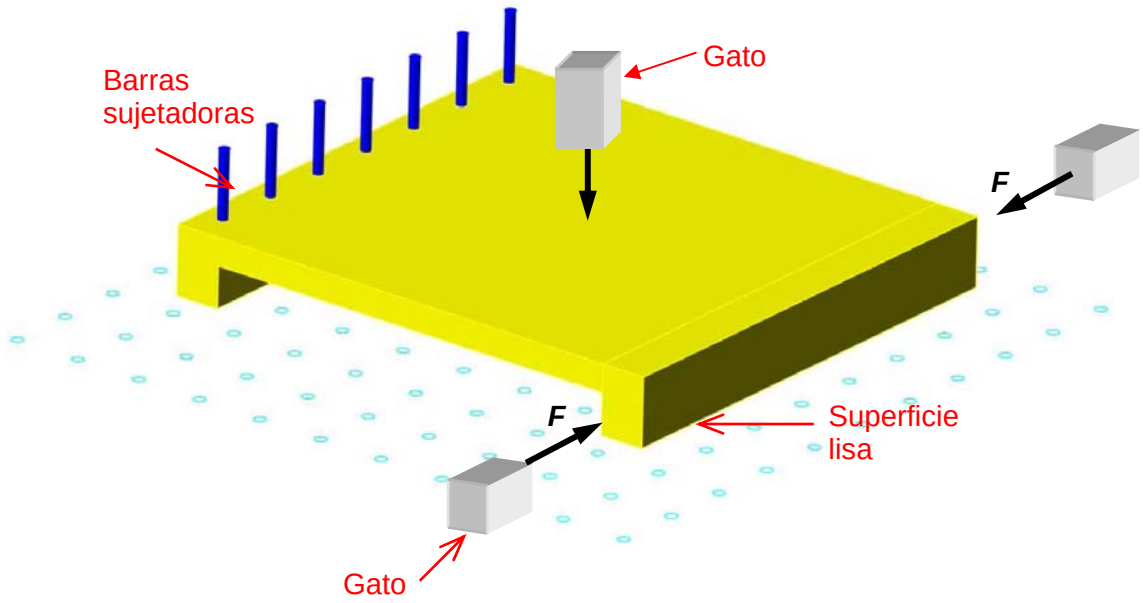

Figura 7 Esquemas de los ensayes para los especímenes de uno y dos tableros de losa

MARCO DE CARGA Y PRUEBAS A REALIZAR

Todos los modelos serán ensayados con el mismo marco de carga, el cual permite la aplicación no simultánea de carga vertical al centro de los paneles y carga horizontal cíclica reversible, en una de las trabes laterales de apoyo (ver figura 8). La carga horizontal cíclica reversible es lograda mediante la utilización de dos gatos ubicados en uno y otro extremo de la trabe de apoyo, y en la misma alineación.

Antes de cada ciclo de carga horizontal, se aplicará una carga vertical cuyo valor no exceda a la carga de agrietamiento de las losas. Posterior al retiro de la carga vertical, se aplicará un ciclo completo de fuerza horizontal (ida, venida y descarga). Este patrón se irá repitiendo, con un aumento en la carga horizontal en cada ciclo, hasta alcanzar el deterioro completo de las losas, asociado a la falla por cortante en el plano.

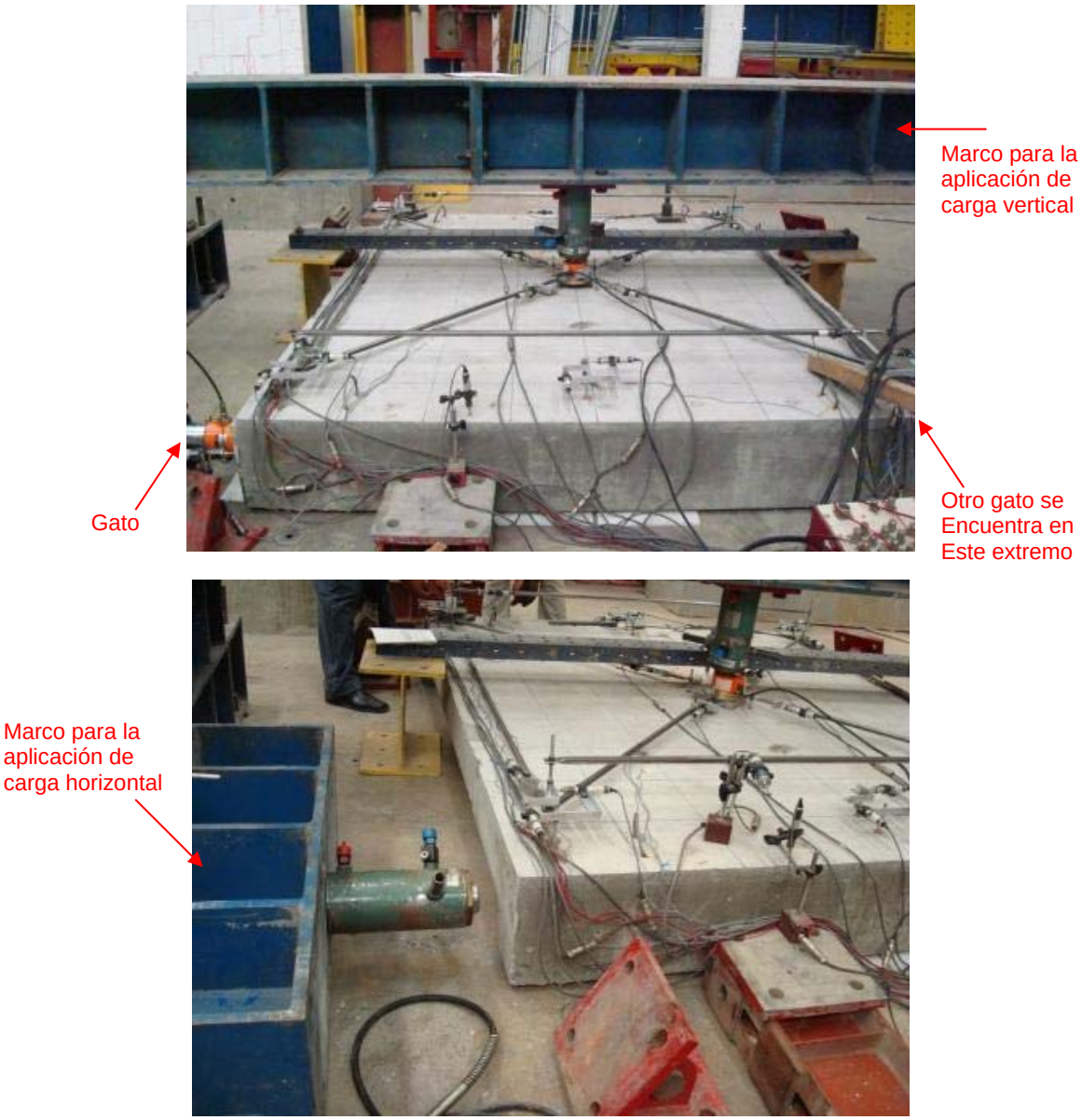
Marco para la aplicación de carga vertical
Gato
Otro gato se Encuentra en Este extremo
Marco para la aplicación de carga horizontal

Figura 8 Marco de carga que permite la aplicación no simultánea de carga vertical y fuerza horizontal cíclica reversible

Los gatos usados para la aplicación de las fuerzas horizontales y verticales permiten un incremento manual de la carga hasta las 50 toneladas (ver figura 9).

Figura 9 Aplicación de carga manual a los gatos hidráulicos

Según los datos del fabricante, se determinó que la carga vertical a aplicarse fuera de 2 ton, la cual es menor a la carga de agrietamiento de las losas. Para los modelos de un tablero de losa, se aplicarán 6 ciclos de carga vertical no reversibles (en la dirección hacia abajo solamente), según puede verse en la figura 10. La aplicación de carga vertical, luego de varios ciclos de carga horizontal, se hace con la finalidad de evaluar el deterioro de la rigidez vertical de las losas cuando están sometidas a fuerzas sísmicas (horizontales).

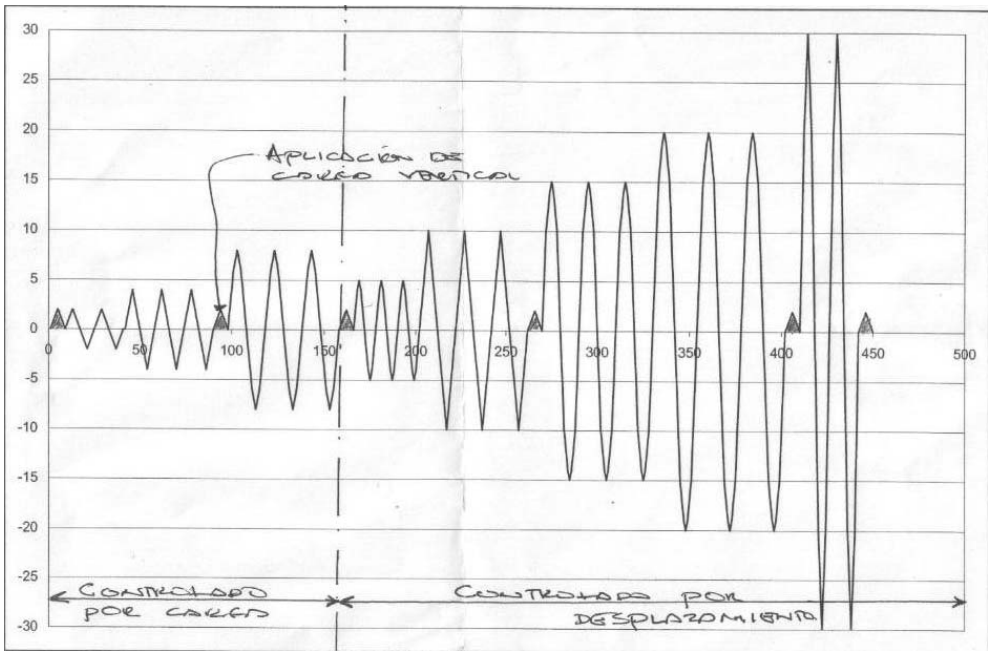

Figura 10 Historia de carga para los modelos de un tablero de losa

INSTRUMENTACIÓN

Se realizó una instrumentación externa de los modelos, con elementos de medición de desplazamiento (LBDTs) y de deformación (Strain Gauges). Los strain gauges (SG) fueron pegados directamente sobre la superficie de concreto, mientras que para los LBDTs se colocaron placas de aluminio empernadas en la losa. Estos instrumentos fueron colocados en todo el perímetro de las losas (en las dos direcciones) y en las direcciones principales de esfuerzos de cortante; es decir, a lo largo de las diagonales de los paneles (ver figura 11). En cada una de las diagonales se colocó un LBDT y una roseta de SG; es decir, un abanico de 3 SG unidos en un punto y con ángulos sucesivos de 45° como se muestra en la figura 11. En esta figura también se muestran los gatos y las celdas de carga usadas (medidores de la aplicación de la carga). Para la fuerza horizontal se usaron celdas de carga de 50 t (CC50) mientras que para la aplicación de la fuerza vertical se usó una cerda de carga de 5 t (CC5).

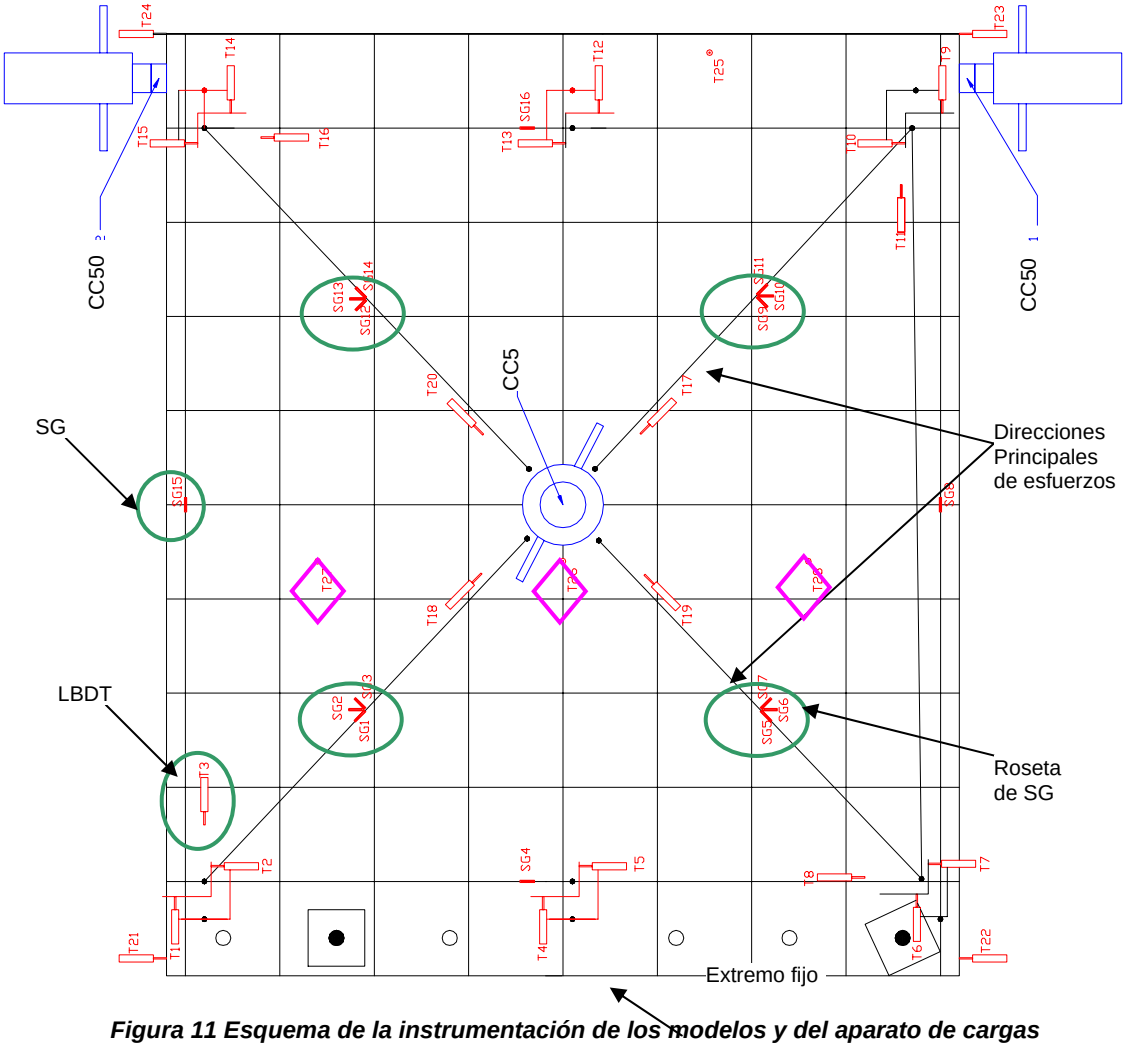

Figura 11 Esquema de la instrumentación de los modelos y del aparato de cargas

También se colocaron LBDTs en los extremos de las trabes de apoyo, para medir los desplazamientos horizontales en la dirección de la carga. Adicionalmente, se colocaron tres LBDT para medir el desplazamiento vertical de la losa (encerrados en rombos en la figura 11).

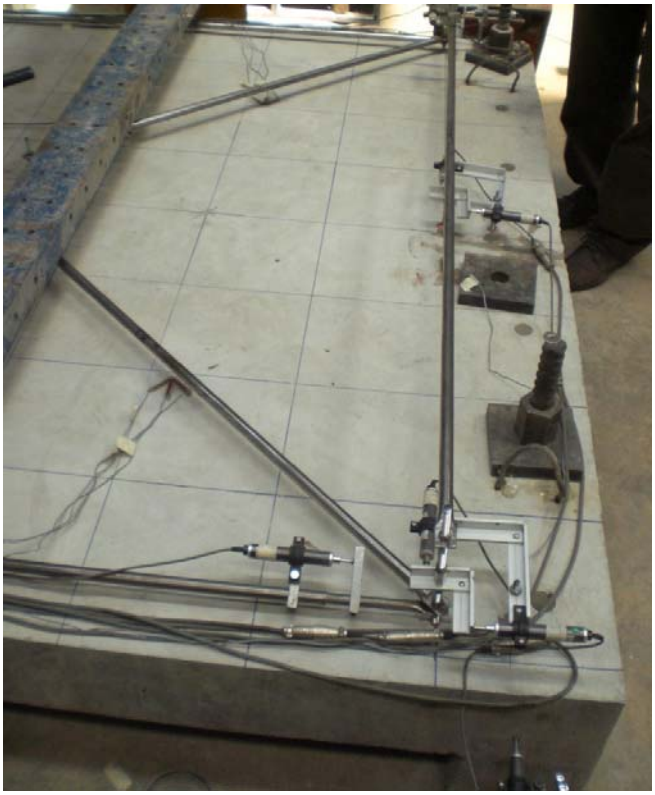

Figura 12 Instrumentación del modelo A_1

RESULTADOS PRELIMINARES

Hasta la fecha de la redacción del presente trabajo, se han realizado los ensayes de los modelos A_1, A_2 y A_7, correspondientes a las losas de vigueta y bovedilla de cemento-arena con viguetas orientadas perpendicularmente y paralelamente a la fuerza horizontal y a la losa maciza, respectivamente (ver figuras 2 y 3)

Los resultados a presentarse a continuación son preliminares, ya que corresponden a un primer análisis de los datos obtenidos de desplazamiento y fuerza aplicada en los especimenes mencionados. Posteriormente se espera realizar una evaluación más detallada con los resultados de todos los modelos ensayados.

RIGIDEZ HORIZONTAL (A CORTANTE) DE LAS LOSAS

Luego de la aplicación de la fuerza horizontal cíclica reversible en las tres losas ensayadas, se obtuvieron los valores del desplazamiento horizontal en el extremo de aplicación de la carga (trabe de apoyo móvil) y la carga horizontal aplicada. Estos valores se graficaron obteniéndose la gráfica de cortante en el plano de la losa versus desplazamiento relativo (ver figura 13).

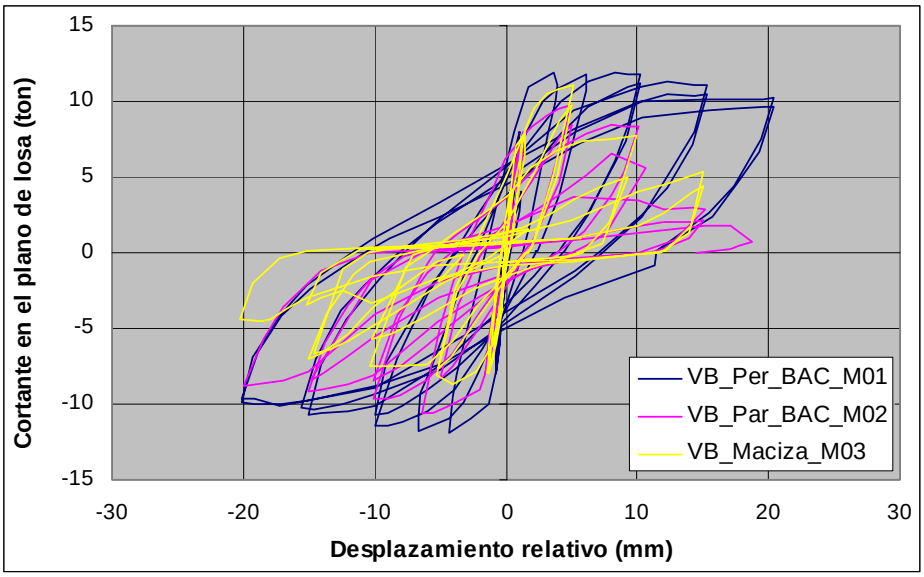

Figura 13 Gráfica de cortante de piso contra desplazamiento relativo de la losa (información preliminar)

La simbología empleada en la gráfica hace referencia a lo siguiente:
VB_Per_BAC_A_1: Vigueta y Bovedilla, vigueta Perpendicular al elemento portante (trabe), Bovedilla de Arena Cemento, modelo A_1
VB_Par_BAC_A_2: Vigueta y Bovedilla, vigueta Paralela al elemento portante (trabe), Bovedilla de Arena Cemento, modelo A_2
VB_Maciza_A_7: Losa maciza, modelo A_7

De acuerdo con la gráfica de la figura 13, el espécimen que presentó mejor comportamiento a cortante, fue la losa de vigueta y bovedilla con las viguetas orientadas perpendicularmente a la dirección de la aplicación de la carga (modelo A_1). Este modelo presenta un comportamiento histerético dúctil, con disipación de energía y sin deterioro considerable de rigidez. Mientras que los modelos A_2 (losa de vigueta y bovedilla con las viguetas orientadas paralelamente a la dirección de la aplicación de la carga) y A_7 (losa maciza) presentaron un comportamiento desfavorable, ya que muestran una pérdida casi total de la rigidez a cortante, en los últimos ciclos de carga.

.

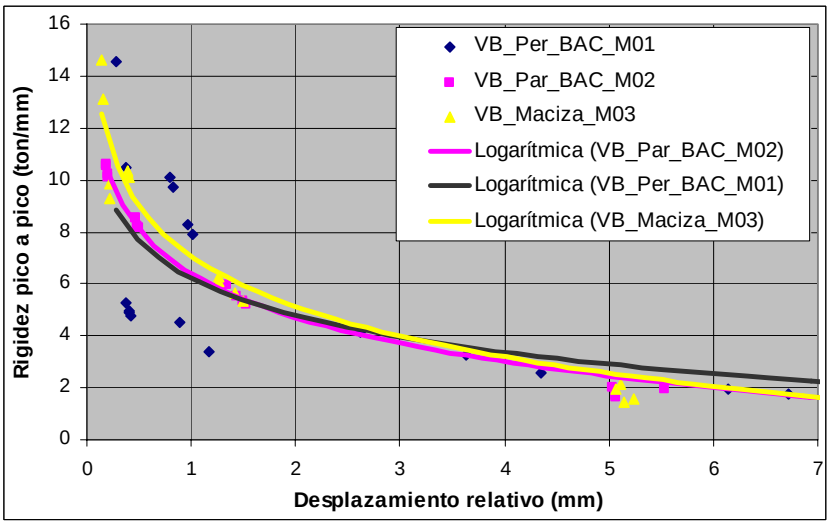

Figura 14 Rigidez pico a pico contra desplazamiento relativo de la losa, en el estado límite de servicio.

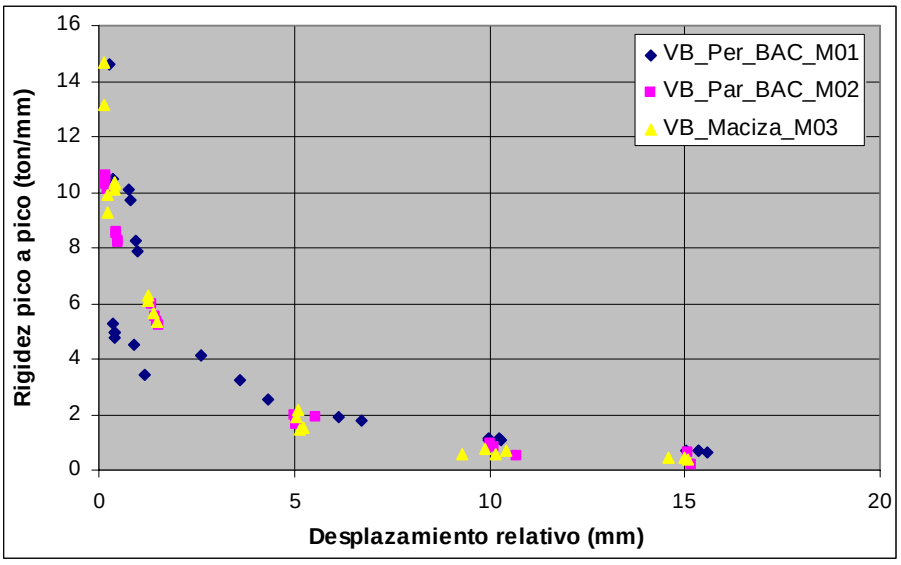

Figura 15 Rigidez pico a pico contra desplazamiento relativo de la losa, en todo el ensaye

En la figura 14 se muestra la gráfica de rigidez pico a pico (en cada ciclo de carga) contra desplazamiento relativo de la losa, en el estado límite de servicio. Se muestran las rigideces calculadas (fuerza máxima aplicada en el ciclo entre el desplazamiento correspondiente) y la tendencia de las mismas. En la figura 15 se incluyen todas las rigideces calculadas durante el ensaye.

De las gráficas 14 y 15, podemos concluir que dentro del estado de servicio de las losas (hasta el inicio del agrietamiento) las rigideces de las mismas son similares. Sin embargo, luego del agrietamiento, la rigidez del modelo A_1 es mayor que las rigideces de los modelos A_2 y A_3.

Figura 16 Agrietamiento del Modelo A_1 después del ensaye

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a un creciente aumento en el uso de las losas de vigueta y bovedilla, y tomando en cuenta las necesidades de información que han manifestado los profesionales de la industria de la vivienda en México, se vio necesario determinar los niveles de seguridad que guarda este sistema, mediante pruebas en laboratorio. Gracias al apoyo de la Asociación Nacional de Industriales de la Vigueta Pretensada (ANIVIP) y del CENAPRED, se están realizando pruebas de modelos a escala natural, representativos de las losas de vigueta y bovedilla, que tienen por objetivo obtener la información solicitada y permitir una retroalimentación para los comités revisores de las normas, como la NMX-C-406-1997-ONNCCE, y las NTC para Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

En cuanto a la fabricación de los especímenes, resulta difícil controlar la resistencia del concreto del firme, cuando éste se hace en una revolvedora (procedimiento tradicional). Sin embargo, de acuerdo con las pruebas en laboratorio, las resistencias que se están obteniendo son mayores a los 250 kg/cm2, teniendo en cuenta que se especificaron concretos de resistencias menores (hasta de 150 kg/cm2)

De los resultados preliminares, se puede concluir que las losas de vigueta y bovedilla de arena-cemento, presentan un buen comportamiento a fuerza cortante cuando las viguetas se orientan en la dirección perpendicular a la fuerza aplicada, mientras que cuando éstas se orientan en la otra dirección, la degradación de la rigidez es drástica. Sin embargo, contrariamente a lo que se tiene pensado, esta misma degradación ocurre en el modelo de losa maciza.

Por último, se espera tener los resultados de las pruebas de los demás especímenes para una mejor comparación e interpretación de los resultados. Al final de los ensayos, se tendrá una base de datos amplia para juzgar, analizar y obtener conclusiones importantes.

REFERENCIAS

Betancourt Ribotta R., León Flores G. A. (2007), "**Manual Técnico de Losas Prefabricadas (PREMEX)**", quinta edición, México D.F.

Garrido H. (2003), "**Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)**". España.

López Bátiz O., Silva Olivera Toro H., Cazamayor C.H. y Ortiz V.E. (2001) "**Estudio experimental sobre el comportamiento de estructuras con sistemas de piso de vigueta y bovedilla sujetas a cargas laterales**". Memorias del XIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Guadalajara, Jalisco.

Nilson A. (1988), "**Diseño de estructuras de concreto presforzado**". Versión española de Luis Consiglieri, México D.F..

NMX-C-406-1997 ONNCCE (1998), "**Sistemas de vigueta y bovedilla y componentes prefabricados similares para losas**". Diario oficial de la Federación, México D.F.

NTCDC (2004), "**Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal**". Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, México D.F.

RCDF (2004), "**Reglamento de Construcciones del Distrito Federal**". Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F.